

Դ.Ս. ՇԱԼՁՅԱՆ

ԽԱՌԸ ԱԶԴԱՆՇԱՆԱՅԻՆ ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՍԻՆԵՄԱՆԵՐՈՒՄ ԱՂՄՈՒԿԻ ՀԱՅՏՆԱԲԵՐՄԱՆ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Ժամանակակից հաշվողական համակարգերում լայն կիրառություն ունեն խառը ազդանշանային ինտեգրալ սխեմաները, որոնցում աղմուկների հայտնաբերումը և վերացումը համակարգի ճշգրիտ աշխատանքն ապահովելու կարևորագույն պահանջներից է: Հետազոտվել են խառը ազդանշանային ինտեգրալ սխեմաներում Ֆլիկերի աղմուկի (ցածրհաճախականային աղմուկ) առաջացման աղբյուրները և դրանց հայտնաբերման ու վերացման հիմնական եղանակները:

Առանցքային բաներ. խառը ազդանշանային ինտեգրալ սխեմաներ, աղմուկ, Ֆլիկերի աղմուկ, ցածրհաճախականային աղմուկ:

Ժամանակակից հաշվողական համակարգերում լայն կիրառություն ունեցող անալոգային և խառը ազդանշանային սխեմաներում տրանզիստորների քանակի մեծացումը հանգեցնում է աղմուկների առաջացմանը: Թվային և անալոգային մասերում առաջացած անցանկալի աղմուկները կարող են առաջացնել ինտեգրալ սխեմաներում աշխատանքային արագության սահմանափակման, հզորության կորուստ, ինչպես նաև հանգեցնել նրանց ոչ ֆունկցիոնալ աշխատանքին: Ուստի, անալոգային և խառը ազդանշանային ինտեգրալ սխեմաների պահանջվող աշխատանքն ապահովելու համար, գլխավոր խնդիրներից են նրանցում առկա անցանկալի աղմուկների հայտնաբերումն ու վերացումը [1]:

Ինտեգրալ սխեմաներում աղմուկները երկու տեսակ են՝ արիեստական և ներքին աղմուկներ: ԻՍ-երում արիեստական աղբյուրների առաջացման պատճառ կարող են լինել շրջակա տարրերից ԻՍ մուտք գործող պատահական խանգարումները: Այդ աղմուկները կարող են ներթափանցել ԻՍ՝ հաստատուն լարման կամ հողանցման ուղիներով, ԻՍ-ի և փոփոխական լարման հոսքուղու միջև առաջացած էլեկտրաստատիկ կամ մագնիսական փոխազդեցության հետևանքով, հարևան էլեկտրական տարրի հետ փոխազդեցության պատճառով և այլն: Ներքին աղմուկները ինտեգրալ սխեմաների ներսում առկա էլեկտրական տարրերի աշխատանքի կամ նրանց միջև գործող փոխազդեցությունների հետևանքով առաջացած աղմուկներն են (օրինակ՝ ջերմային աղմուկ, Ֆլիկերի աղմուկ և այլն) [1]:

Հաղորդչում ջերմային աղմուկի աղբյուր հանդիսանում են լիցքակիրները, որոնք ուղորդված շարժմանը զուգահեռ՝ կատարում են նաև քառսային շարժում,

որը հանգեցնում է լարման արժեքի տատանումներին հաղորդչի երկայնքով: Էլեկտրոնների քառասային շարժումով պայմանավորված՝ հոսանքը ջերմաստիճանի բարձրացմանը զուգահեռ աճում է, ուստի կարող ենք ասել, որ ջերմային աղմուկը ուղիղ համեմատական է ջերմաստիճանի արժեքին [2]:

Իսառը ազդանշանային ինտեգրալ սխեմաներում առկա մետաղ-օքսիդ կիսահաղորդիչներում նույնպես կարող են առաջանալ ջերմային աղմուկներ: Ջերմային աղմուկները հիմնականում առաջանում են ՄՕԿ տրանզիստորների հոսքուղում: Քանի որ հազցման ռեժիմում աշխատող ՄՕԿ տրանզիստորը ներկայացնում է հոսանքի աղբյուր, ուստի աղմուկը կարող է ներկայացվել որպես հոսանքի աղբյուր՝ միացված ակունքի և արտաբերի միջև: ՄՕԿ տրանզիստորների օհմական միացումներում նույնպես կարող են առաջանալ ջերմային աղմուկներ, որոնք ավելի վառ կարտահայտվեն փականի օհմական միացման մոտ (ակունքի և արտաբերի օհմական միացումների դիմադրությունները կարելի է անտեսել): Ի տարբերություն տրանզիստորի հոսքուղում առաջացած ջերմային աղմուկի, որը կարելի է նվազեցնել՝ փոքրացնելով հաղորդականության արժեքը, փականի օհմական միացման ջերմային աղմուկը կարելի է նվազեցնել նաև հատակազծում փոփոխություններ կատարելու միջոցով [2]:

Իսառը ազդանշանային ինտեգրալ սխեմաներում հաճախ առաջացող աղմուկների դասին է պատկանում նաև Ֆլիկերի աղմուկը ($1/f$ աղմուկ, վարդագույն), որին բնորոշ է սպեկտրային խտության հակադարձ համեմատական կախումը հաճախությունից, որտեղից էլ ստացել է ցածրհաճախականային աղմուկ անվանումը:

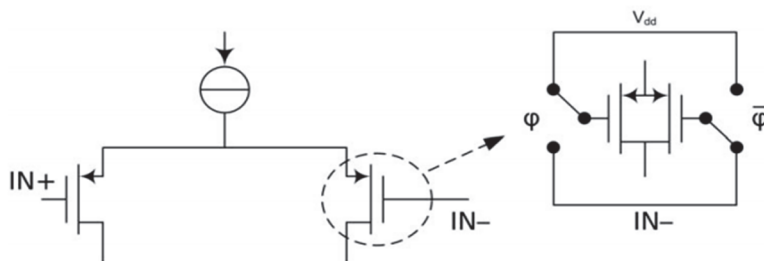
Դիտարկված են ինտեգրալ սխեմաներում ցածրհաճախականային (Ֆլիկերի) աղմուկի առաջացման հիմնական աղբյուրները, ինչպես նաև կատարված է աղմուկի հայտնաբերման և վերացման եղանակների համեմատություն:

Ցածրհաճախականային (Ֆլիկերի) աղմուկը: Ինտեգրալ սխեմաներում այն կարող է առաջանալ ՄՕԿ տրանզիստորներում: ՄՕԿ տրանզիստորների սիլիկոնային բյուրեղի վերին մակերևույթին առաջանում են լիցքակիրների համար ծուղակներ: Այնուհետև այդ լիցքակիրները, դուրս գալով ծուղակներից, առաջացնում են լրացուցիչ էներգետիկ մակարդակներ, որոնցով էլ պայմանավորված է Ֆլիկերի աղմուկի առաջացումը: Ի տարբերություն ջերմային աղմուկների, Ֆլիկերի աղմուկների նկարագրությունը միարժեքորեն ստանալ հնարավոր չէ: Ֆլիկերի աղմուկի արժեքը, ԿՄՕԿ տեխնոլոգիայից կախված, տարբեր է ստացվում: Նրա սպեկտրային խտությունը ներկայացվում է հետևյալ կերպ [5].

$$V_{avg}^2 = \frac{K}{C_{ox}WLf'} \quad (1)$$

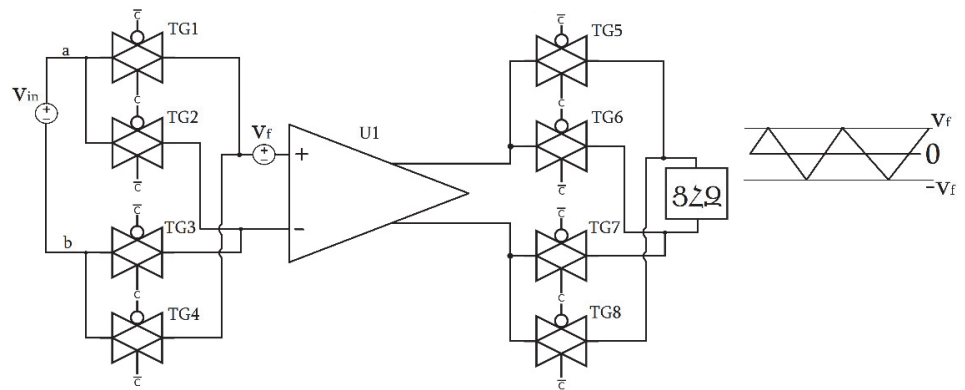
որտեղ K -ն հաստատուն 10^{-25} վ²Հg կարգի մեծության գործակից է և կարող է փոփոխվել՝ կախված ԿՄՕԿ տեխնոլոգիայից: (1) արտահայտությունից երևում է, որ տրանզիստորի չափսերի մեծացումով կարելի է նվազեցնել Ֆիլկերի աղմուկը: Ի տարբերություն n-տիպի ՄՕԿ տրանզիստորների՝ p-տիպի տրանզիստորներում Ֆիլկերի աղմուկն ավելի քիչ է արտահայտվում: Դա պայմանավորված է նրանով, որ ՄՕԿ տրանզիստորներում խոռոչները ավելի քիչ են վերաբաշխվում օքսիդ-սիլիկոն մակերևույթին մոտ, ուստի ավելի քիչ քանակով խոռոչներ են ընկնում թակարդները [2]: Դիտարկված են Ֆիլկերի աղմուկի նվազեցման երկու հիմնական եղանակները:

Դիֆերենցիալ տրանզիստորների զույգի կիրառմամբ Ֆիլկերի աղմուկի վերացման եղանակ: Աղմուկի վերացման այս եղանակում ՄՕԿ տրանզիստորը փոխարինվում է զուգահեռ միացված երկու միանման տրանզիստորներով: Նկ. 1-ում ներկայացված է p-տիպի տրանզիստորի փոխարինումը հաջորդաբար փոխանջատվող տրանզիստորների զուգահեռ միացված զույգով: φ և $\varphi\sim$ կառավարվող ազդանշաններով տրանզիստորների փականներին են տրվում IN- մուտքային ազդանշանը կամ VDD հաստատուն լարման աղբյուրը (ընդ որում, եթե առաջին տրանզիստորի փականը միացված է IN- մուտքային ազդանշանին, ապա երկրորդ տրանզիստորի փականին տրված է VDD հաստատուն լարման աղբյուրը, և հակառակը): Տրանզիստորների պարբերական փոխանջատումները հանգեցնում են նրանցում թակարդներ ընկնող լիցքակիրների նվազեցմանը, որն էլ հանգեցնում է Ֆիլկերի աղմուկի նվազեցմանը: Ֆիլկերի աղմուկի նվազեցման համար հարկավոր է, որ զուգահեռ միացված տրանզիստորները լինեն իդեալական սիմետրիկ, ինչպես նաև φ և $\varphi\sim$ ազդանշանների աճման և նվազման ժամանակները լինեն հավասար: Այս եղանակի թերությունն այն է, որ ելքային ազդանշանի վրա լարման ցատկերը շատանում են, ինչպես նաև մեծանում է էներգասպառումը [4]:



Նկ. 1. Դիֆերենցիալ տրանզիստորների զույգի կիրառման եղանակը

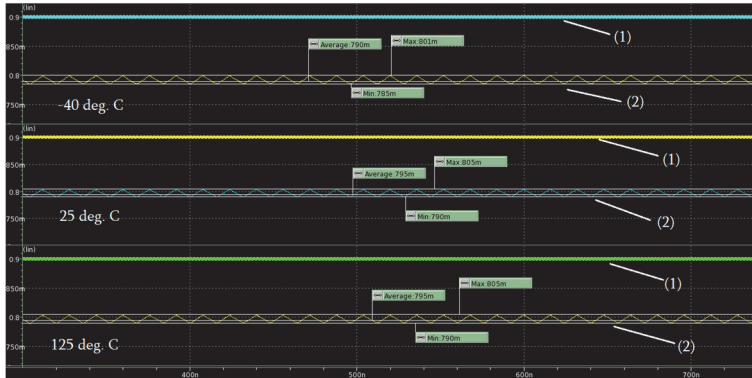
Չոփիների ուժեղարարի կիրառմամբ Ֆիլիերի աղմուկի վերացման եղանակը: Չոփիների ուժեղարարի կիրառման եղանակը վերացնում է ԻՍ-երում առաջացած Ֆիլիերի աղմուկը: Չոփիների ուժեղարարը ներկայացված է նկ. 2-ում: TG1-ից TG8 փոխանցվող փականները հաջորդականորեն փոխանջատվում են f_{ch} Չոփիների հաճախությամբ, ընդ որում, f_{ch} Չոփիների հաճախությունը պետք է շատ անգամ մեծ լինի մուտքային ազդանշանի հաճախությունից: Առաջին կիսապարբերության դեպքում բաց են TG1, TG3, TG5, TG7 տրանզիստորային փականները, իսկ հաջորդ կիսապարբերության ընթացքում՝ TG2, TG4, TG6, TG8 փականները: Արդյունքում ստացվում է այնպես, որ 2 կիսապարբերություններում ուժեղարարի ելքային ազդանշանը և մուտքային ազդանշանն ունեն միևնույն փուլային շեղվածությունը, իսկ V_f Ֆիլիերի աղմուկը փոխում է նշանը f_{ch} հաճախությամբ, որն էլ չեզոքացվում է ցածրհաճախականային գտիչի (ՑՀՀ) կիրառմամբ (ՑՀՀ-ի կտրման հաճախականությունը շատ անգամ փոքր է f_{ch} Չոփիների հաճախությունից) [5,6]:



Նկ. 2. Չոփիների ուժեղարարի կիրառման եղանակը

Չոփիների ուժեղարարի կիրառմամբ Ֆիլիերի աղմուկի վերացման եղանակի մոդելավորման արդյունքները: Համակարգը մշակվել է 14 նանոչափային տեխնոլոգիական գործնթացով և մոդելավորվել է՝ կիրառելով Hspice ծրագրային գործիքը [7]: Մոդելավորումը կատարվել է -40 , 25 , և 125° C ջերմաստիճանային պայմաններում (նկ. 3): Միավոր ուժեղացման գործակցով ուժեղարարի մուտքին կիրառված է $0,8$ Վ ազդանշան: Ցածր հաճախությունների և Չոփիների ուժեղարարի բացակայության դեպքում միավոր ուժեղացման գործակցով ուժեղարարի ելքային լարման կախվածությունը ժամանակից պատկերված է նկ. 3-ում (1) կորով՝ համապատասխանաբար -40 , 25 , և 125° C ջերմաստիճանների դեպքում: Երեք դեպքերում էլ ելքային լարումը շեղված է մոտավորապես $0,1$ Վ: Իսկ նկ. 3-ում պատկերված (2) կորերը Չոփիների ուժեղարարի կիրառման արդյունքում ստացված

ելքային լարումներն են $-40, 25, \text{և } 125^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանների դեպքում: Վերջինիս դեպքում էլքային լարման արժեքները մոտ են $0,8$ Վ լարման մակարդակին:



Նկ. 3. Չոփիերի ուժեղարարի մոդելավորման արդյունքները

Եզրակացություն: Ի տարբերություն ջերմային աղմուկի՝ ցածր-հաճախականային (Ֆլիկերի) աղմուկի սպեկտրային խտությունը հակադարձ համեմատական է հաճախությանը: Դիֆերենցիալ տրանզիստորների զույգի Ֆլիկերի աղմուկի վերացման եղանակը թույլ է տալիս կանխել Ֆլիկերի աղմուկի առաջացումը ՄՕԿ տրանզիստորներում, մինչդեռ Չոփիերի ուժեղարարի կիրառման եղանակը վերացնում է ԻՍ-երում առաջացած Ֆլիկերի աղմուկը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Joel G., Miguez M., Bremermann M., Arnaud A.** On the reduction of thermal and flicker noise in ENG signal recording amplifiers // Analog Integrated Circuits and Signal Processing. - 2008. - P. 39-48.
2. **Razavi B.** Design of Analog CMOS Integrated Circuits. - McGraw Hill Education (India) Edition. - LLC New York, 2018. - 782 p.
3. **Hyunsoo H., Chris V. H., Helleputte N. V.** Measurement and Analysis of Input-Signal Dependent Flicker Noise Modulation in Chopper Stabilized Instrumentation Amplifier // IEEE Solid-State Circuits Letters. - April 2018.- Vol. 1, issue 4. - P. 90-93.
4. **Hanspeter S.** Offset, flicker noise, and ways to deal with them.- November 6, 2008. – 21 p.
5. **Jeongwook K.** Low-Frequency-Noise Reduction Technique for Linear Analog CMOS IC's. - Technical University of Munich. - 113.
6. **Klumperink A. M., Sander L. J. Gierkink, Arnoud P. W., Bram N.** Reducing MOSFET $1/f$ Noise and Power Consumption by Switched Biasing // IEEE Journal of solid-state Circuits. - July 2000. - Vol. 35, No. 7. - P. 994-1001.
7. HSPICE. Simulation and Analysis User Guide. - Synopsys, 2013.

Դ.Տ. ՄԱԼԺՅԱՆ

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ШУМА В ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ СО СМЕШАННЫМИ СИГНАЛАМИ

В современных вычислительных системах широко используются интегральные схемы со смешанными сигналами, где обнаружение и устранение шумов является одним из важнейших требований для обеспечения точной работы системы. Исследуются основные источники и методы обнаружения и устранения фликкерных шумов (низкочастотных шумов) в интегральных схемах со смешанными сигналами.

Ключевые слова: интегральные схемы со смешанными сигналами, шум, фликкерный шум, низкочастотный шум.

D.S. SHALJYAN

RESEARCH OF THE BASIC METHODS OF NOISE DETECTION IN MIXED-SIGNAL INTEGRATED CIRCUITS

In modern computing systems mixed-signal integrated circuits are widely used, where the noise detection and elimination are the most important requirements for the ensuring precise system operation. The main sources and the basic detection and elimination methods of the Flicker noise (low frequency noise) in mixed-signal integrated circuits are studied.

Keywords: mixed-signal integrated circuits, noise, Flicker noise, low-frequency noise.

ՀՏԴ 621.3.049.77

Ս.Ա. ԱՎՈՒՇՅԱՆ

ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՍԽԵՄԱՆԵՐԻ ՀԱՂՈՐԴԻՉ-ԸՆԴՈՒՆԻՉ ՀԱՆԳՈՒՅՑՆԵՐՈՒՄ ՄՆՄԱՆ ԼԱՐՄԱՆ ՇԵՂՄԱՆ ՀԱՅՏՆԱԲԵՐՈՒՄԸ

Ինտեգրալ սխեմաների (ԻՍ) հաղորդիչ-ընդունիչ հանգույցների արագագործության սահմանափակիչ գործոններ են հանդիսանում գործընթացի, լարման և ջերմաստիճանի (ԳԼՋ) պայմանների փոփոխությունները: Արագագործության բարձրացման նպատակով առաջարկված է սնման լարման արժեքի շեղման հայտնաբերման և գնահատման համակարգ, որը թույլ է տալիս ինտեգրալ սխեմայի աշխատանքի ողջ ընթացքում հետևել լարման արժեքի փոփոխություններին և անհրաժեշտության դեպքում ուղարկել կարգաբերման ազդանշան համապատասխան համակարգերին:

Առանցքային բաներ. ինտեգրալ սխեմա, արագագործություն, ջերմաստիճան, սնման լարում, տեխնոլոգիական գործընթաց, համակարգ:

Գեգահերցային հաճախությունների տիրույթում աշխատող ԻՍ-երում, կառուցվածքային առանձնահատկություններից զատ, հաղորդիչ-ընդունիչ հանգույց-